宇宙作为量子细胞的织锦：一种循环而永恒的新视野

一个整合了对称性、量子纠缠和离散时空的宇宙学模型，描绘了一个永恒、动态且不断反馈的宇宙，并为当前宇宙学的紧张局势提供了答案。

Ernesto Mascarell Perez
独立研究员
Mascarell1960@hotmail.com

引言：超越大爆炸

大爆炸模型取得了非凡的成功：**它解**释了宇宙的膨胀、微波背景辐射（CMB）**以及**轻元素的丰度。然而，它也伴随着一些令人不安的问题。初始奇点发生了什么？为什么宇宙在大尺度上如此均匀？为什么膨胀在加速？以及最近，为什么从CMB**和局部源**测得的哈勃常数（当前膨胀速率）不一致？

在过去十年中，涌现了许多试图超越大爆炸的替代方案。一些方案提出了永恒宇宙，具有无限的膨胀和收缩循环。另一些则诉诸量子引力或时空的离散结构。现在，一个新的理论框架将所有上述思想统一在同一保护伞之下：由量子纠缠调控的永恒循环宇宙，并组织成由时空结构本身连接的宇宙“细胞”织锦。

本文梳理了这一提议的支柱，展示了它如何解决基本问题，并说明了如何通过当前和未来的观测加以检验。

---

1. 对称性的力量：从诺特定理到永恒宇宙

物理学最深层的原理之一是：每一个对称性都对应一个守恒定律。艾米·诺特（1915）**的定理指出，如果自然定律在**时间平移下不变，则能量守恒；在空间平移下不变，则动量守恒；在旋转下不变，则角动量守恒。

在宇宙学中，这些对称性似乎被破坏了。例如，宇宙在膨胀，因此在广义相对论中能量并不整体守恒。此外，由于熵的增加，时间沿着一个方向前进（热力学箭头）。对于永恒宇宙来说，这是一个挑战：如果熵不断增加，它怎么能永恒存在呢？

答案在于构想更深层次的对称性，例如CPT对称性（电荷、宇称、时间反演）。一个整体CPT对称的宇宙可以由两半组成：我们的宇宙具有向前的时间箭头，以及一个具有向后时间箭头的“镜像宇宙”，**它**们在熵最小的点处相接。那个点就是大爆炸，但它并非绝对的起点，而是永恒宇宙中的一个过渡点。

这类思想为循环永恒宇宙学奠定了基础，其中每个循环都有自己的大爆炸和熵增，但整体系统保持平衡。

---

2. 量子纠缠：宇宙的隐藏引擎

量子物理学最革命性的发现之一是纠缠：两个粒子可以以非局域的方式相互关联，使得对其中一个的测量会瞬时影响另一个的状态，无论距离多远。爱因斯坦称之为**"鬼魅般的超距作用"**，这一现象已在实验室中得到验证，距离达数百公里，甚至最近在LHC**的高能碰撞中**，**在**顶夸克对中也得到了证实。

纠缠能否在宇宙尺度上具有相关性？我们探索的提议回答是肯定的。遍布整个宇宙的纠缠粒子网络可以作为膨胀的调节器。这个网络为弗里德曼方程（控制宇宙膨胀的方程）增加了一个额外项，我们称之为Q。

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\left(\rho_{\text{物质}} a^{-3} + \rho_{\text{辐射}} a^{-4}\right) - \frac{k}{a^2} + \frac{\Lambda}{3} + Q$$

Q项取决于纠缠对的数量、它们的相干性以及一个集体相位。本质上，当宇宙小而密时，纠缠强烈，Q**可能很大**；**当宇宙膨**胀时，Q**会稀**释。这个效应可以根据相位加速或减缓膨胀，甚至可以产生类似于暗能量的晚期加速，而无需人为引入宇宙学常数。

---

3. 因果集：具有无限过去的离散时空

为了使宇宙永恒并避免大爆炸奇点，我们需要一种不会坍缩为无限密度的时空理论。因果集理论提出，时空由离散的**"原子"**（**事件**）组成，这些事件通过因果序相关。不存在连续性：几何从这些点的组合中涌现。关键的是，这些集合可以具有无限过去：没有第一个事件。因此，大爆炸不是奇点，而是在一个永恒延伸到过去的因果序列中的一个高密度点。

在此框架下，**量子**纠缠自然地表现为共享过去因果的事件之间的关联。将因果集与Q项结合，我们得到一个场景：每个宇宙循环（膨胀、收缩、反弹）都通过纠缠网络所保存的记忆与下一个循环相连。这种记忆至关重要：它允许前一个循环的条件影响新循环，从而解释为什么原初涨落具有我们观测到的谱。

---

4. 完整循环：收缩与膨胀之间的永恒舞蹈

现在我们来描述该模型中一个完整循环的过程。每个“细胞”（我们的可观测宇宙，以及可能的多重宇宙中的其他宇宙）经历六个阶段：

1. **从最大膨胀收缩**：**密度增加**，纠缠网络增强，相干性增长。
2. **反弹**：**在最小尺寸（普朗克尺度量级）**处，宇宙反弹。量子记忆将集体相位和相干性信息从上一个循环传递给新循环。
3. **早期膨胀**：**宇宙冷却**，发生核合成，并发射微波背景辐射。Q项调节膨胀速度，影响CMB**中的声学尺度。**
4. **中期膨胀**：**星系形成。暗物**质（作为一个额外成分包含在内）在引力作用下增长，但其演化可能受到与量子网络相互作用的影响。
5. **晚期膨胀**：**集体相位可以**产生有效加速，解释观测到的暗能量。
6. **最大膨胀与回归**：**膨**胀停止并重新开始收缩，闭合循环。

纠缠网络充当时钟和调节器：相位Φ(t)**决定**Q项的强度和符号，而相干性D(t)**控制**该效应持续的时间。**Φ的演化**类似于耦合振子系统（仓本模型），从而允许集体同步现象。

---

5. 细胞织锦：纠缠宇宙的多重宇宙

一个自然的扩展是想象我们的宇宙并非孤立存在。如果基础时空（因果集）是单一的，它可以被划分为区域或“细胞”，**每个**细胞都有自己的循环动力学。这些细胞通过因果关系和其粒子间的纠缠相互连接。

在这个循环宇宙的织锦中，每个细胞的方程与其邻居的方程耦合。例如，一个细胞的相位Φ_i**受到**邻居相位的影响，包含一个sin(Φ_j – Φ_i)项。这可能导致全局同步：所有细胞同时开始它们的循环，从而解释观测到的均匀性。

根据网络的拓扑结构（一维、二维、随机等），可以涌现出集体行为，如同步域、相位波甚至混沌状态。我们开发的数值模拟允许探索这些状态并提取可观测的预测。

---

6. 解决哈勃 tension：一个更年轻的宇宙？

宇宙学最紧迫的问题之一是哈勃张力：哈勃常数(H0)**的局部**测量值约为73–74 km/s/Mpc，**而根据**标准ΛCDM**模型从**CMB**推断的**值约为67–68 km/s/Mpc。这一差异具有5σ显著性，表明我们对早期膨胀的理解有所缺失。

在我们的模型中，Q项可以充当早期暗能量，在复合之前加速膨胀，从而减小CMB中的声学尺度。这使得利用相同的CMB数据可以获得更高的H0，与局部测量一致。循环的数值模拟表明，通过适当选择纠缠参数，可以实现所需的调节。

此外，细胞之间的耦合（如果我们的宇宙是织锦的一部分）可以更加丰富地修改膨胀历史，为解释张力提供自然机制，而无需引入奇异成分。

---

7. 暗物质与S8张力：更缓慢的增长

另一个不太为人所知但同样显著的差异是S8张力，它测量物质涨落的幅度。引力透镜数据（如KiDS和DES望远镜的数据）指向的值低于从CMB推断的值。这表明物质的成团比ΛCDM预测的更慢。

在我们的模型中，暗物质可以与纠缠网络相互作用。一种简单的耦合是允许一部分纠缠能量在每个反弹时转化为暗物质，或者暗物质密度的演化依赖于相位Φ。这些相互作用可以抑制小尺度结构的增长，降低σ8并缓解S8张力。

因此，调节膨胀的同一机制（纠缠）也影响星系的形成，为两个最重要的宇宙学张力提供了统一解决方案。

---

8. 观测特征：如何检验模型

一个宇宙学模型只有在能够被观测证伪时才有用。我们的提议留下了几个独特的印记：

- **原初非高斯性**：标准暴涨预测的非高斯性非常小(fNL << 1)，而带有量子记忆的反弹过程可以产生fNL量级为1或更大，尤其是局域或等边型。未来的CMB实验（CMB-S4、Simons Observatory）将能够探测或限制这些值。
- **大尺度关联**：遥远区域之间的纠缠可以在大于粒子视界的尺度上产生星系两点函数的过量关联，这在ΛCDM中不会发生。Euclid和Rubin Observatory等巡天项目将能够高精度地测量这些关联。
- **宇称不对称性**：最近的观测显示螺旋星系具有偏好旋向（例如逆时针多于顺时针）。在我们的模型中，集体相位Φ可能具有继承自先前循环的净螺旋性，从而在天空中产生一个优选方向，可能表现在CMB（所谓的"邪恶轴"）和星系的排列上。

- **CMB功率谱**：Q项修改了声学峰的形状。对Planck**数据和未来**实验的详细分析可以确定是否存在具有我们提出的函数形式的早期暗能量的证据。

---

9. 结论：走向新宇宙学

我们概述的模型**——由量子**纠缠调控、具有离散时空并组织成相互作用细胞织锦的永恒循环宇宙**——代表了相**对于标准大爆炸的范式转变。它用平滑反弹取代了初始奇点，将均匀性和各向同性解释为集体同步的结果，并自然产生加速膨胀和暗物质作为涌现效应。

此外，它提供了可观测的预测，使未来几年内能够对其进行检验。如果哈勃和S8张力持续存在，并且新的非高斯性和大尺度关联测量证实了当前异常，那么这类模型可能成为宇宙学的新基础。

但超越其解释力，这一框架邀请我们将宇宙视为一个量子有机体：一个由呼吸、同步并通过纠缠传递信息的细胞网络。一个并非诞生，而是始终存在，处于永恒创造与再创造循环中的宇宙。

扩展阅读参考文献

- Noether, E. (1918). Invariante Variationsprobleme. Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Math-phys. Klasse, 235-257.
- Bombelli, L., Lee, J., Meyer, D., & Sorkin, R. D. (1987). Space-time as a causal set. Physical Review Letters, 59(5), 521.
- ATLAS Collaboration (2024). Observation of quantum entanglement in top-quark pairs. (Resultado presentado en conferencias; pendiente de publicación).
- Riess, A. G., et al. (2022). A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty. The Astrophysical Journal Letters, 934(1), L7.
- Planck Collaboration (2020). Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. Astronomy & Astrophysics, 641, A6.
- Carroll, S. M., & Chen, J. (2004). Spontaneous inflation and the origin of the arrow of time. Physical Review D, 70(4), 043501.